マゼラン雲のX線源

京都大学理学部宇宙線
辻本匡弘

1998年12月24日

1 Introduction

ある銀河に属する天体種族の個数分布の違いは、その銀河の進化を知る上で重要な証拠を与える。小マゼラン雲(SMC)で、そのサイズに比して大量のX線パルサーが発見(Appendix参照)されたことは、この銀河のX線天体の個数密度が特異であることをほのめかすものである。

そこで我々は今回、LMC（大マゼラン雲）とSMC（小マゼラン雲）に着目し、この二つの銀河でX線天体の個数密度に違いが見られるかを調べることにした。

LMCとSMCは以下のような点から、天体種族の個数密度を明らかにする研究には最適な銀河である。

- ともに近傍の銀河(LMCまでの距離は～50[kpc]、SMCまでは～60[kpc])であるから、各X線源が分離して観測できる
- 適当な大きさ(LMCは$10^\circ \times 10^\circ$、SMCは$3^\circ \times 3^\circ$)なので、現実的な観測時間で全体をカバーすることができる
- ともに銀河面から離れた位置にあり、吸収の影響が小さい。無バイアスで各種のX線源を検出するには、できるだけ吸収が少ない銀河が望ましい

X線観測衛星「あすか」は現在までにLMCで40数回、SMCで10回前後の観測を行なっており、我々はこれらのうち入手可能なデータを系統的に解析することにした。そして、これらの観測から得られたX線源のサンプルを分類することにより、SMCの特異な天体種族分布を示す結果が得られたのでここに報告する。

以下ではまず、第2章で今回の解析に用いたデータを紹介し。3章でこれらのデータから抽出したX線源を、明るいX線源に対してはカタログにしたがって分類し、暗いX線源に対しては、Hardness Ratioを用いて分類す

る。その結果を用いて4章でLMCとSMCのX線種族の個数密度の比較を行ない、SMCの特異な種族分布を明らかにする。最後に5章では、この結果をSMCの進化過程と絡めて簡単に議論する。

2 「あすか」のLMC、SMCデータ

我々は「あすか」のこれまでの観測（LMCで40回、SMCで8回の観測）データを系統的に解析した。これらのデータから、S/N>5の基準を満たすX線源を抽出し、種族分類のサンプルとして用いた。

表1: LMCとSMCのX線源の数：「あすか」の観測データからS/N>5を満たすX線源を抽出した。1) 過去の研究からすでに正体が分かっており分類が確立しているX線源と、2) まだ正体が分かっていないX線源（大部分は暗いX線源）とに分けて示す。

	LMC	SMC
観測数	40	8
X線源の数	34	37
すでに正体が分かっているX線源	23	21
まだ正体が分かっていないX線源	11	16

3 X線源の分類

X線源の分類をするため、今回は4つの種族を用意した。

SNRs 熱的なスペクトルを示す超新星残骸

HMXBPs 降着駆動型の大質量連星パルサー (High Mass X-ray Binary Pulsar)

BH Binaries ブラックホール連星系

Crab-like SNRs 中心に回転駆動型のパルサーを持つSNR

また、分類の方針は、

すでに正体が分かっているX線源 カタログ[1]–[7]に従って分類

まだ正体が分かっていないX線源 Hardness Ratioを利用して分類

とする。

3.1 X線種族とHardness Ratio

今回我々は、LMC、SMCのX線源のスペクトルの硬さ = Hardness Ratio (Appendix参照) を用いて、X線源の種類が明確に分離できることを見出した。「あすか」の観測データから、すでに正体の分かっているX線源を選んで縦軸にHardness Ratio、横軸にcount rateの対数をとってプロットしたものを図1に示す。

HMXBPはLMC、SMCともに例外なく$0.2 < Hardness\ Ratio < 0.6$の領域に収まり、SNRは一部を除いて$-1.0 < Hardness\ Ratio < -0.6$の領域に収まっているのが分かる。我々はこれらをそれぞれ**HMXBP region**、**SNR region**と名付ける。

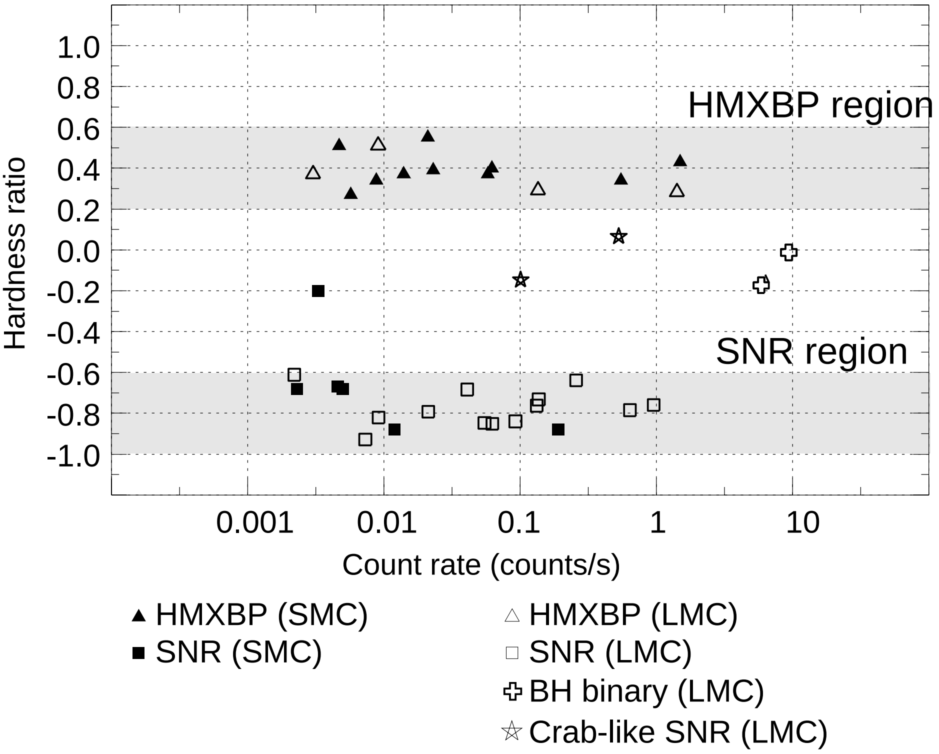

図1: Hardness Ratio – Count Rate 図：種族は形で、LMCのX線源かSMCのX線源かは色で区別して示す。

3.2 Hardness Ratioによる暗いX線源の分類

前節で述べたように、X線の種族（特にHMXBPとSNR）はHardness Ratioで明確に分類することができる。この関係を利用すれば、暗いX線源の正体を推測することができる。すなわち、図2のように、暗いX線源を同様のHardness Ratio − Count Rateのグラフにプロットし、HMXBP region上にあるものをHMXBP候補として、またSNR region上にあるものをSNR候補として分類する。

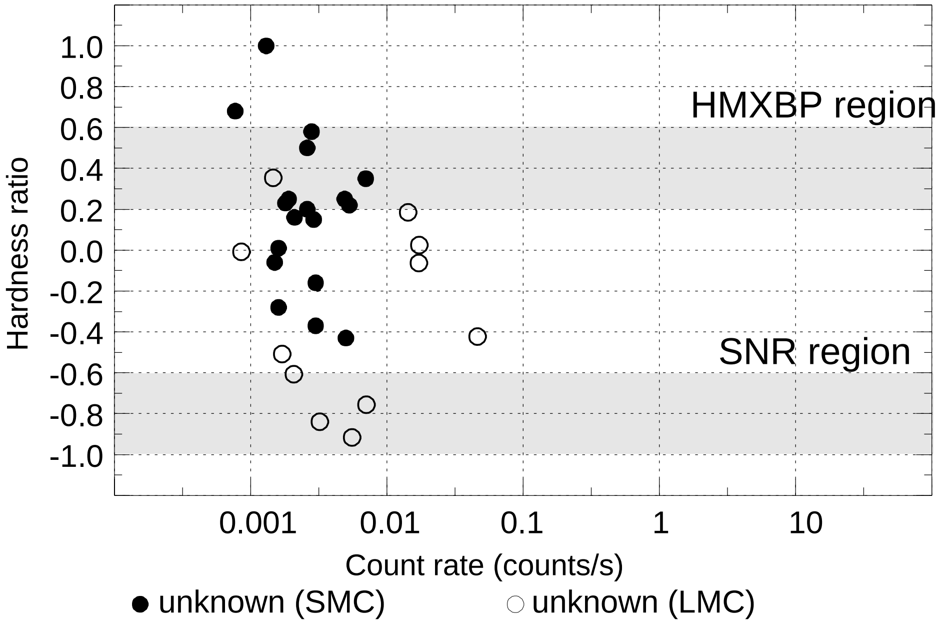

図2: 暗いX線源のHardness Ratio − Count Rate図：図1と同じようにして、まだ正体が分かっていないX線源をプロットする。

一般的に、暗いX線源は統計が悪いためにスペクトルフィッティングでその正体を区別することが難しいが、この方法ではモデルに依存せず分類ができるのが特徴である。

4 X線源の個数密度

4.1 分類の結果

以上の手法で「あすか」の観測データから得られた各種族のX線源の数を、表2に示す。

表 2: 各所属のX線源の個数：明るいX線源の所属毎の個数（括弧内にはHardness Ratioを用いて正体を推測した暗いX線源の数を示す）

class	LMC	SMC
SNRs	14(+4)	6 (+0)
HMXBPs	4(+1)	10 (+8)
BH Binaries	2	0
Crab-like SNRs	2	0

4.2 LMCとSMCの比較

分類の結果に基づき、LMCとSMCのX線種族をその質量(LMC:SMC=10:1)で規格化して比較する。BH BinariesとCrab-like SNRsについては、SMCでサンプルが見つからなかったので除外して、HMXBPsとSNRsを比較すれば図3のようになる。

LMCとSMCでは、X線種族の個数密度に大きな違いがあるのが見てとれる。特に顕著な違いは、SMCでHMXBPsが、その候補天体とともに非常に多いことである。

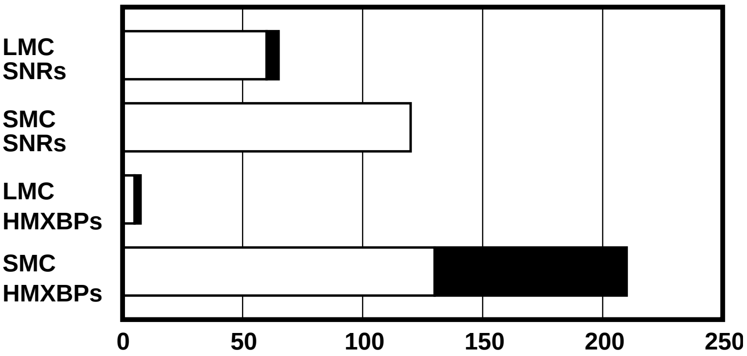

図 3: HMXBPとSNRの数密度の比較：LMCとSMCの質量比を10 :1として個数を質量比で規格化した。すでに分類が確立した明るいX線源の個数（白棒）の上に、今回Hardness Ratioから求めた候補天体の個数（黒棒）を重ねてある。

5 議論

我々の系統的な解析から、LMCとSMCではX線天体種族に大きな違いがあり、とりわけ、SMCはHMXBPsの非常に多い銀河であることを示した。これは何を意味しているのであろうか?

HMXBP の平均的寿命は約 10^7yr と考えられているから、SMC でこの種の天体が多いことは、この銀河が 10^7yr 前に活発な星形成活動を経験したことを示している。10^8 yr 前の LMC と SMC の近接相互作用から、SMC では活発な星形成活動が続いていると考えられているが、今回の結果は SMC の進化のスナップショットを捉えたものともいえる。

参考文献

[1] Wang Q., Hamilton T., Helfand D.J., and Wu X. 1991, ApJ 374 475

[2] Wang Q., Wu X. 1992, ApJS 78 391

[3] Shmidke P.C., Cowley A.P., Frattare L.M., and McGrath T.K. 1994, PASP 106 843

[4] Cowley A.P., Shmidke P.C., McGrath T.K., Ponder A.L., and Fertig M.R. 1997, PASP 109 21

[5] Shmidke P.C., Cowley A.P., Crane J.D., Taylor V.A., and McGrath T.K. astro-ph/9812217

[6] Kahabka P., Pietsch W., Filipovic, M.D., and Haberl F. astro-ph/9812143

[7] Yokogawa J.*et al.* 1999 in prep.

[8] Gardiner L.T., Sawa T., and Fujimoto M. 1993, MNRAS 266 567

Appendix

A パルサーラッシュ

パルサーラッシュ

1997年末からSMCでX線パルサーが続々と発見された。1995年までにSMCでは3つのパルサーしか知られていなかったが、1997年末から1999年1月現在までに一挙に12個のX線パルサーが発見されたのである。この急激なパルサー発見をわれわれはゴールドラッシュにちなんで、「パルサーラッシュ」と称している(図4)。我々のグループはX線観測衛星「あすか」を用いて5つのX線パルサーを発見し、「パルサーラッシュ」に応分の寄与をしている。

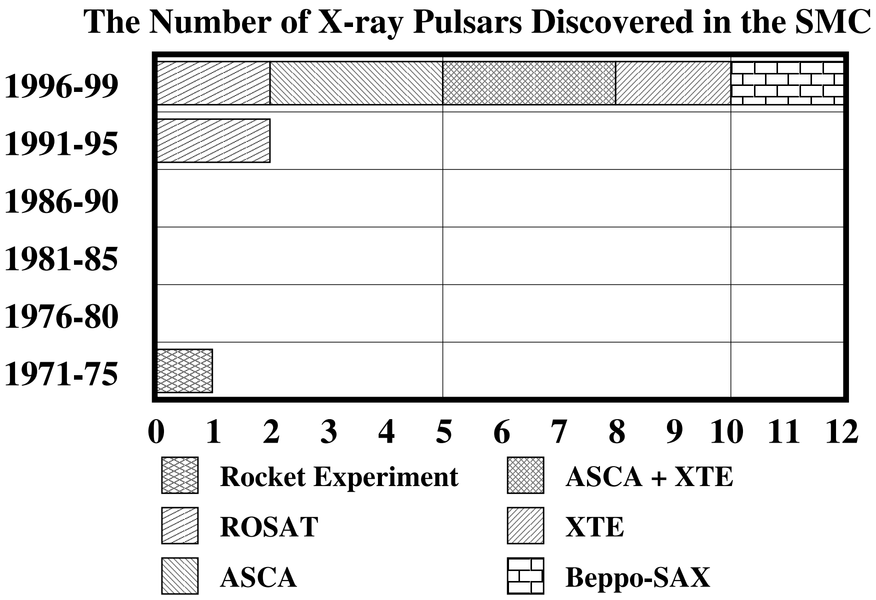

図4: SMCで発見されたX線パルサーの数とその年代を、発見した衛星毎に模様分けして示す。

B Hardness Ratio

Hardness Ratio

X線源の正体を知るのに最も重要な情報はスペクトルである。例えば「あすか」で観測したHMXBPとSNRの典型的なスペクトルは、図5に示すように、一般的にHMXBPは「硬い」スペクトルを示し、SNRは「軟らかい」スペクトルを示す。この「スペクトルの硬さ」を定量的に評価するパラメータが**Hardness Ratio(HR)**である。HRは

$$HR = \frac{H-S}{H+S} \tag{1}$$

H : photon counts of hard band (2.0∼7.0[keV])
S : photon counts of soft band (0.7∼2.0[keV])

と定義され、HRが1に近いほど硬く、また-1に近いほど軟らかいスペクトルであることを示す。
今回の我々の研究では、HRによってX線の種族が明確に区別できることを示した（本文参照）。

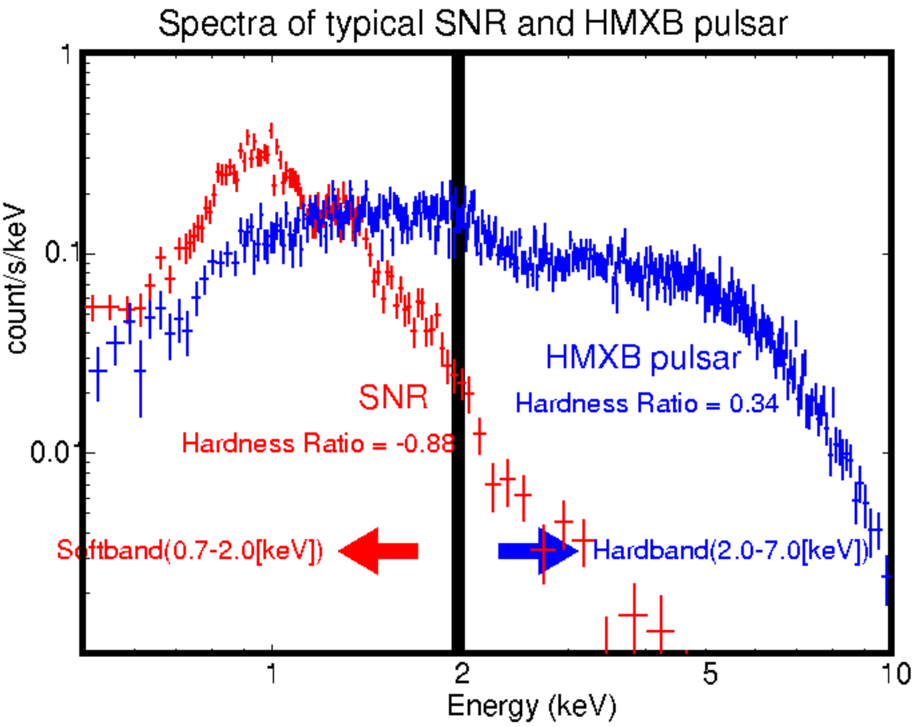

図5: HMXBPとSNRの典型的なスペクトル

C 「あすか」によるLMC、SMCの観測

C.1 LMCの観測

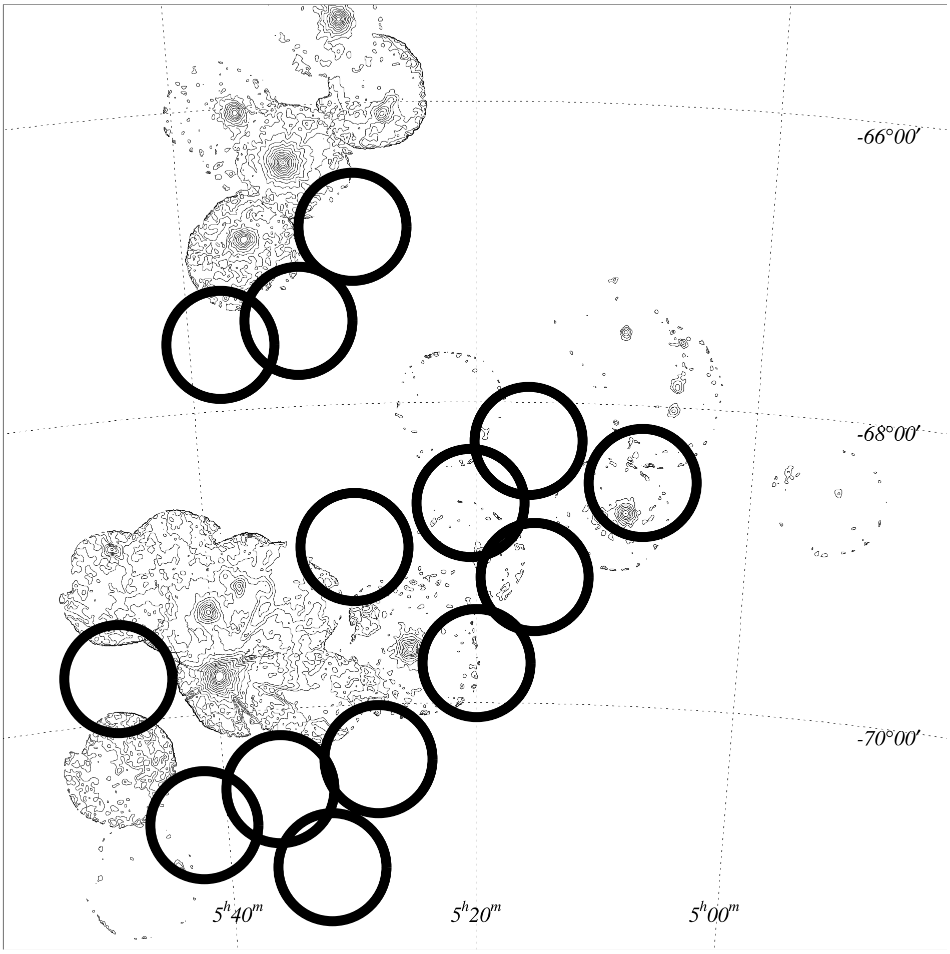

図 6: 「あすか」による LMC の観測： 「あすか」のこれまでの観測から作ったLMC のモザイクイメージ。円で示したのは、次回の観測サイクル (AO7) で観測が予定されている部分

C.2　SMC の観測

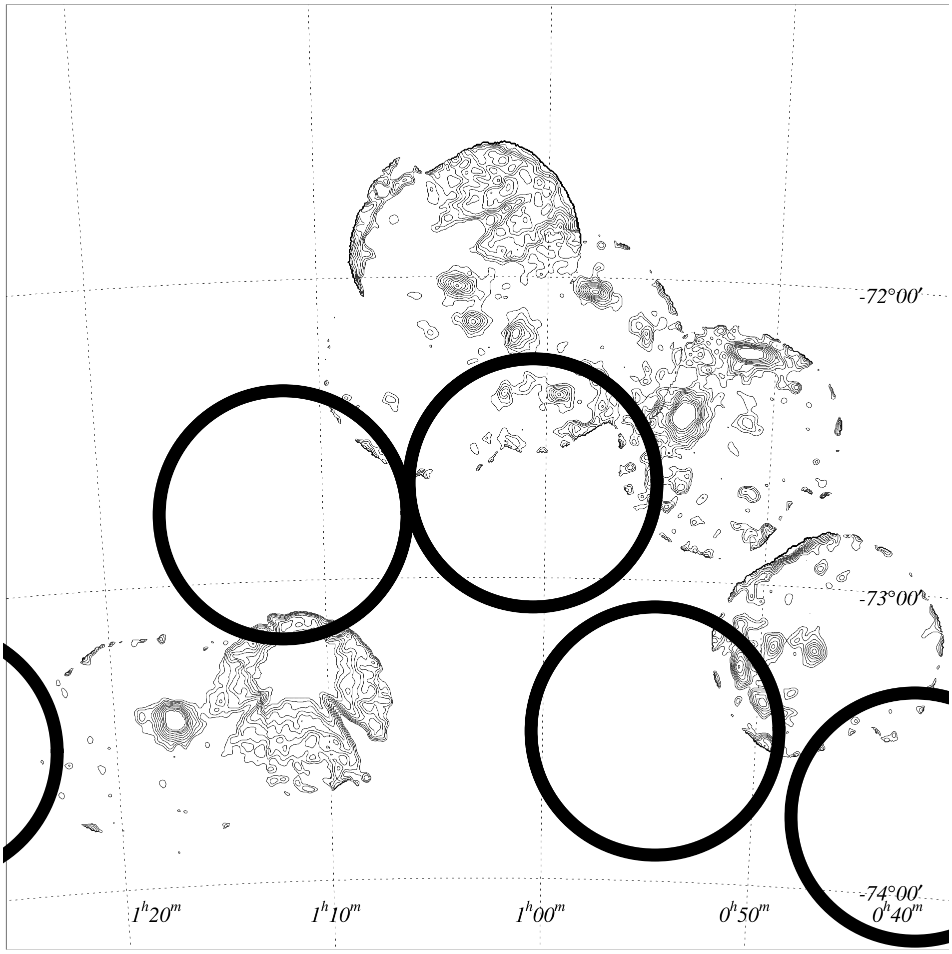

図 7:　「あすか」による SMC の観測：　「あすか」のこれまでの観測から作ったSMC のモザイクイメージ。円で示したのは、次回の観測サイクル　(AO7) で観測が予定されている部分